

Д О К Л А Д Ы

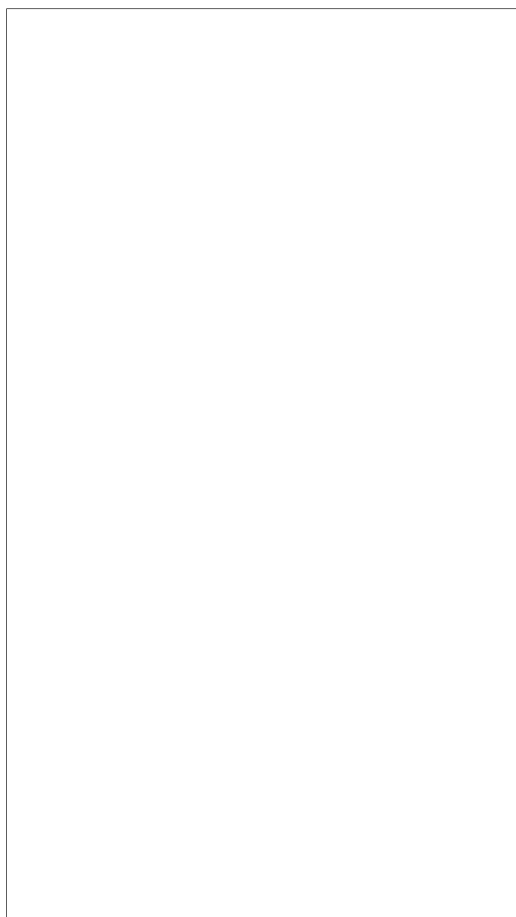
АКАДЕМИИ НАУК СССР

written May 1957

1958

Том 118, № 2

STAT



Доклады Академии наук СССР
1958. Том 118, № 2

ФИЗИКА ✓

В. М. ФРИДКИН

**ФОТОЭЛЕКТРЕТЫ И ОБРАЗОВАНИЕ СКРЫТОГО
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 18 V 1957)

Явление постоянной внутренней фотополяризации в диэлектриках было открыто в 1938 г. Г. Наджаковым и названо фотоэлектретным состоянием по аналогии с термоэлектретами (1). В работах (2,3) исследовалась длительность сохранения поляризации в фотоэлектретах, а также влияние температуры на процесс их деполяризации. В ряде наших работ исследовалось фотоэлектретное состояние в монокристаллах серы и антрацена, а также в поликристаллической сере с точки зрения влияния условий поляризации на величину заряда фотоэлектрета (4,5).

Фотоэлектретное состояние в диэлектриках обусловлено накоплением объемного заряда в процессе фотопроводимости. При переходе электрона из основной зоны в зону проводимости, он совершает сдвиг в направлении поля и, выпадая в конце сдвига из зоны проводимости, закрепляется на некотором локальном уровне, природа которого может быть различна. Возможно, что в случае монокристаллов эти локальные уровни обусловлены различными дефектами структуры. Более высокая устойчивость указанных выше полярных текстур по сравнению с монокристаллическими фотоэлектретами, обнаруженная в работах (2,4), говорит об особо устойчивом закреплении электронов на глубоких локальных уровнях, возникающих на границах кристаллических зерен в поликристаллических образцах.

В работе (6) была изложена методика получения электрофотографических изображений на поверхности поликристаллических фотоэлектретов и, тем самым, предложено новое направление в области исследования постоянной внутренней фотополяризации.

Настоящая работа содержит ряд новых результатов, полученных при исследовании фотоэлектретного состояния с помощью электрофотографического метода.

Описанная в работе (6) методика получения электрофотографических изображений на фотоэлектретах заключалась в следующем. На алюминиевые пластины напылялись в вакууме слои поликристаллической серы толщиной порядка 50 м. Слои поляризовались при приложенном напряжении и непрерывном освещении через полупрозрачный электрод. Заряд на поверхности полученного таким образом фотоэлектрета мог измеряться с помощью динамического электрометра.

На поверхность фотоэлектрета проектировалось позитивное изображение. В результате экспозиции освещенные участки фотоэлектрета деполяризовались, а затемненные сохраняли первоначальную поляризацию. Так как скорость деполяризации фотоэлектрета зависит от освещенности (2), то образующееся в результате экспозиции скрытое изображение, обусловленное неравномерным распределением поляризации, может передавать полутона оригинала. Для проявления скрытого изображения использовался трибоэлектрический эффект. Порошок асфальта смешивался с мелко раздробленными кристаллами поваренной соли. При этом частицы поваренной соли заряжались отрицательно, а частицы асфальта положительно. Смесь

двух порошков ссыпалась на поверхность фотоэлектрета, сохраняющего скрытое изображение, и в зависимости от знака заряда на поверхности фотоэлектрета скрытое изображение проявлялось частицами асфальта или поваренной соли, которые задерживались лишь на участках, сохранивших поляризацию. На рис. 1 представлен образец такого рода электрофотографии, полученной на фотоэлектрете из поликристаллической серы с помощью растрового оригинала.



Рис. 1. Образец электрофотографии, полученной на фотоэлектрете из поликристаллической серы с помощью растрового оригинала

Нами была исследована зависимость между величиной поверхностного заряда фотоэлектрета (или напряженностью электрического поля на его поверхности) и величиной оптической плотности проявленного изображения. Напыленный в вакууме слой поликристаллической серы толщиной порядка 50μ поляризовался при разных напряженностях поля и равномерной освещенности порядка $2 \cdot 10^{-6}$ ватт/см², создаваемой на поверхности слоя с помощью фотолампы. Поляризация слоя производилась в течение 10 мин., после чего освещение прекращалось и снималось напряжение. В качестве полупрозрачного электрода использовалось стекло с напыленным слоем серебра. С помощью динамического электрометра измерялась величина напряженности поля на поверхности фотоэлектрета, после чего поверхность фотоэлектрета проявлялась указанным выше образом и с помощью фотометра ФТ-2 измерялась оптическая плотность проявленного частицами асфальта изображения. На рис. 2 представлена зависимость оптической плотности ΔD от величины напряженности электрического поля на поверхности фотоэлектрета.

Линейная зависимость между величиной оптической плотности проявленного на поверхности фотоэлектрета изображения и величиной его поверхностного заряда была положена нами в основу электрофотографического или сенситометрического метода исследования фотоэлектретного состояния в монокристаллах и в поликристаллических образцах. В частности, путем измерения оптической плотности электрофотографического изображения на поверхности фотоэлектрета нами исследовалась длительность сохранения фотополяризации в фотоэлектрете из поликристаллической серы. Слой поликристаллической серы толщиной порядка 50μ поляризовался в течение 10 мин. при напряженности поляризирующего поля 5 кв/см и освещенности на поверхности слоя $2 \cdot 10^{-6}$ ватт/см². Приготовленный таким образом фотоэлектрет сохранялся определенное время в закороченном состоянии в темноте. В нужный момент поверхность фотоэлектрета проявлялась и измерялась

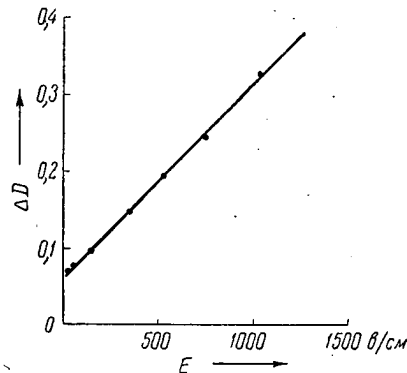


Рис. 2. Зависимость оптической плотности ΔD от величины напряженности электрического поля на поверхности фотоэлектрета

оптическая плотность изображения, причем для последующего измерения, соответствующего другому промежутку времени, поляризация слоя производилась снова. На рис. 3 представлена зависимость оптической плотности ΔD от времени, прошедшего с момента окончания поляризации. Из рис. 3 видно, что после кратковременного спада в течение недели поляризация фотоэлектрета не изменяется на протяжении 30 суток и достигает стабильного значения, составляющего 40% от начальной поляризации. Особый интерес представляло сравнить длительность сохранения скрытого изображения в обычной электрофотографии и электрофотографии на фотоэлектретах. Известная до сих пор электрофотография была основана на адсорбции ионов на поверхности диэлектрика, обладающего фотопроводимостью. Образование скрытого изображения происходило при этом в результате экспонирования на заряженную таким образом поверхность диэлектрика какого-либо позитивного изображения. Последующее проявление скрытого

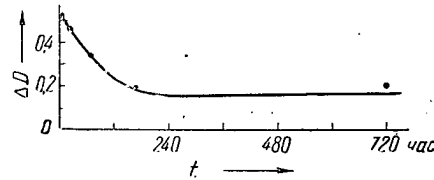


Рис. 3. Зависимость оптической плотности электрофотографического изображения на фотоэлектрете ΔD от времени, прошедшего с момента окончания поляризации

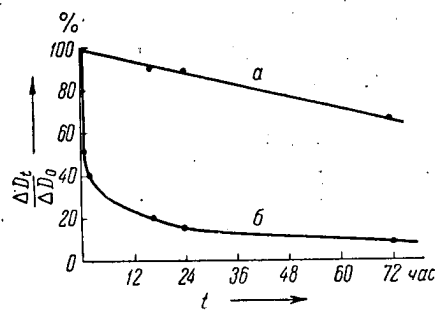


Рис. 4. Регрессия скрытого электрофотографического изображения, а — в случае фотоэлектрета, б — в случае адсорбции ионов на поверхности диэлектрика, обладающего фотопроводимостью

изображения производилось способом, описанным нами выше. Методика получения такого рода электрофотографических изображений была изложена нами в работе (?).

Нами исследовалась регрессия скрытого электрофотографического изображения как в случае фотоэлектрета, так и в случае адсорбции ионов на поверхности диэлектрика, обладающего фотопроводимостью. В обоих случаях использовался один и тот же слой поликристаллической серы толщиной порядка 50 μ , напыленный в вакууме на пластинку алюминия. В одном случае слой поляризовался в течение 10 мин. при напряженности поляризирующего поля порядка

5 кВ/см и освещенности на поверхности слоя $2 \cdot 10^{-6}$ ватт/см². Чтобы исключить в этом случае появление гомозаряда, вызванного переходом зарядов со стороны полупрозрачного электрода на фотоэлектрет, между слоем серы и полупрозрачным электродом помещалась стеклянная пластинка толщиной 1 мм. В другом случае слой поликристаллической серы помещался в поле коронного разряда и заряжался в темноте. В качестве коронирующего электрода использовалось острое, расположенное на расстоянии 10 мм от поверхности слоя и соединенное с отрицательным полюсом высоковольтного выпрямителя (использовалось напряжение порядка 6 кВ). В процессе разряда, продолжительность которого составляла 1 мин., ионы из воздуха адсорбировались на поверхности слоя серы. После зарядки слой закорачивался и сохранялся в темноте определенное время. В нужный момент поверхность заряженного слоя проявлялась описанным выше способом и измерялась оптическая плотность проявленного электрофотографического изображения. Для осуществления каждого нового измерения оптической плотности, соответствующей определенному промежутку времени, зарядка слоя производилась повторно при одних и тех же условиях.

На рис. 4 представлена зависимость от времени процентного отношения величины оптической плотности проявленного электрофотографического изо-

бражения к ее начальному значению для фотоэлектрета (а) и для слоя, заряженного с помощью коронного разряда (б). Из представленных кривых видно, что в случае (б) имеет место быстрая регрессия скрытого электрофотографического изображения, причем заряд на поверхности слоя спадает практически до нуля. Для фотоэлектрета регрессия скрытого электрофотографического изображения происходит значительно медленнее и, как было показано выше, заряд достигает стабильного значения, отличного от нуля. Именно это обстоятельство позволило нам назвать электрофотографию на фотоэлектретах электростатическим аналогом магнитной записи (6).

Полученные результаты подтверждают сделанное выше предположение о том, что скрытое электрофотографическое изображение на поликристаллическом фотоэлектрете обусловлено закреплением электронов на глубоких локальных уровнях, возникающих на границах кристаллических зерен. Начальный кратковременный спад поляризации фотоэлектрета и связанная с ним регрессия скрытого электрофотографического изображения, очевидно, обусловлены освобождением электронов с неглубоких уровней. В случае обычной электрофотографии, связанной с адсорбцией ионов на поверхности диэлектрика, образование скрытого электрофотографического изображения обусловлено локализацией электронов преимущественно на неглубоких уровнях, что приводит к быстрой регрессии скрытого изображения и спаду поверхностного заряда до нуля. Возможно, что детальное исследование закона регрессии скрытого электрофотографического изображения позволит определить энергии активации, соответствующие различным локальным уровням, участвующим в образовании скрытого электрофотографического изображения.

Исследованная в настоящей работе связь между явлением постоянной внутренней фотополяризации и образованием скрытого электрофотографического изображения представляет интерес и с другой точки зрения. Отдельные кристаллические зерна исследованной нами поликристаллической серы являются одновременно зернами электрофотографического слоя. С другой стороны, нами было показано (6), что для монокристаллов серы имеет место экситонный механизм деполяризации фотоэлектрета при его освещении. Отсюда следует, что образование скрытого электрофотографического изображения на поликристаллической сере непосредственно связано с процессом экситонного возбуждения каждого зерна электрофотографического слоя. Это не означает, что на отдельном зерне не может быть получено элементов электрофотографического изображения и что разрешающая способность электрофотографического слоя целиком определяется размерами зерна. Нами получались электрофотографические изображения на больших монокристаллах серы и антрацена, в которых предварительно создавалось фотоэлектретное состояние. Возможно, что в этом случае скрытое электрофотографическое изображение было обусловлено локализацией электронов на уровнях, связанных с дефектами структуры.

В проведении настоящей работы принимали участие А. И. Делова и А. Н. Глаголев.

Автор приносит глубокую благодарность акад. А. В. Шубникову за внимание к работе и обсуждение ее результатов.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило
14 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Nadjakoff, Phys. Zs., 39, 6, 226 (1938). ² Г. Наджаков, Н. Т. Кашукеев, Изв. на Българск. акад. на наук., сер. физ., 2, 321 (1951). ³ Г. Наджаков, Н. Т. Кашукеев, Изв. на Българск. акад. на наук., сер. физ., 3, 103 (1952). ⁴ В. М. Фридкин, Кристаллография, 1, 5, 557 (1956). ⁵ В. М. Фридкин, Кристаллография, 1, 6, 692 (1956). ⁶ В. М. Фридкин, Кристаллография, 2, 1, 130 (1957). ⁷ В. М. Фридкин, Т. Н. Герасимова, ДАН, 113, № 3 (1957).